

文章编号: 1006-9941(1999)01-0031-03

基于靶板毁伤效应的燃料空气 炸药威力评价方法探讨

王海福, 王芳, 冯顺山

(北京理工大学爆炸灾害预防与控制国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 从冲击波超压-冲量毁伤准则出发, 提出一种以靶板毁伤效应评价燃料空气炸药威力的方法, 并就实施评价方法的技术途径进行了探讨。

关键词: 毁伤效应; 燃料空气炸药; 威力评价

中图分类号: TQ560

文献标识码: A

1 引言

燃料空气炸药 (FAE) 显著特征在于: 一方面, 其爆轰过程所需氧气取自爆炸现场的空气, 因而可大大提高战斗部装药的使用效率; 另一方面, FAE 实施分布爆炸, 其云雾区爆轰压力较低, 但超压及冲量作用范围却相对较大^[1,2]。建立全面、科学的 FAE 爆炸威力评价方法, 对 FAE 武器化、性能定位及其战术使用具有重要意义。

有关 FAE 爆炸威力问题, 众多同行分别提出和使用过爆炸潜能、冲击波能量以及冲击波参数 (超压和比冲量) 等评价方法^[3,4], 但上述方法由于本身存在某些局限和不足, 评价结果也不尽相同, 甚至相差很大, 因而在某种程度上降低了评价结果的有效性和应用价值。本文在分析冲击波毁伤准则的基础上, 从冲击波超压-冲量毁伤准则出发, 提出一种以靶板毁伤效应评价 FAE 爆炸威力的方法, 并就实施该评价方法的技术途径进行了探讨。

2 FAE 爆炸威力评价准则及方法

2.1 评价准则

冲击波对目标毁伤作用通常用峰值超压 (Δp)、正压作用时间 (t_+) 和比冲量 (i) 三个参数来度量, 因此, 相应的冲击波毁伤准则有^[5,6]: 超压准则, 冲量准则和

超压-冲量准则 (P-I 准则)。

超压准则认为, 只有当作用于目标的超压达到或超过某一临界值 Δp_c 时, 才能对目标造成一定程度的毁伤。显然, 超压准则忽略了冲击波正压作用时间。研究表明, 只有当 $t_+ \geq 10T$ 时 (式中 T 为目标自振周期), 峰值超压才对目标起决定毁伤作用。

冲量准则认为, 只有当作用于目标的比冲量达到或超过某一临界值 i_c 时, 才能对目标造成一定程度的毁伤。冲量准则的不足之处在于它忽略了目标毁伤存在临界超压作用的事实。研究表明, 只有当 $t_+ \leq T/4$ 时, 比冲量才对目标毁伤起决定作用。

P-I 准则认为, 冲击波对目标毁伤效应由 Δp 和 i 共同决定, 只有当两者同时达到或超过某一临界值 Δp_c 和 i_c , 即 $\Delta p \geq \Delta p_c$ 及 $i \geq i_c$ 时, 才能对目标造成一定程度的毁伤作用。显然, 与超压准则和冲量准则相比, P-I 准则更具科学性和普遍意义。因此, 采用 P-I 准则对 FAE 爆炸威力进行评价更具应用价值。

2.2 评价方法

根据 P-I 准则, 靶板在某一毁伤等级下所对应的超压和比冲量值并不唯一, 而是由一系列超压和比冲量组合 ($\Delta p, i$) 所构成。将那些对靶板造成相同毁伤等级的超压与比冲量组合所构成的曲线称之为靶板等毁伤曲线, 同一靶板在各毁伤等级下所对应的等毁伤曲线如图 1 中曲线 a, b, c, d 和 e 所示, 曲线 f 和 g 分别代表 FAE 和 TNT 爆炸场 $\Delta p-i$ 曲线。

通过靶板毁伤效应试验获得不同厚度 δ (靶板易损性用其厚度 δ 来表征) 靶板在各毁伤等级 (D) 下所

收稿日期: 1997-10-28 修回日期: 1998-01-15

作者简介: 王海福, 男, 1966 年生, 博士, 副教授, 发表论文十余篇。

对应的等毁伤曲线以及 FAE 爆炸场中 Δp - i 曲线,其函数关系为:

$$\Delta p = F_1(i, \delta, D) \quad (1)$$

$$\Delta p = F_2(i) \quad (2)$$

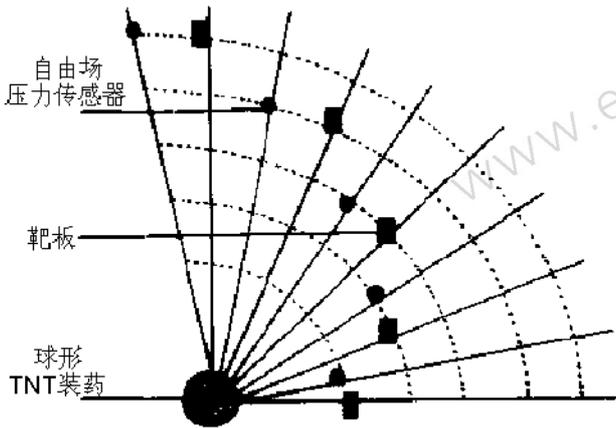


图1 P-I 准则法评价 FAE 爆炸威力原理图
Fig.1 Schematic diagram of FAE power evaluation based on shock overpressure-impulse damage criterion

从图1可以看出,通过联立式(1)和(2),可得到靶板在 FAE 爆炸场中遭受不同等级毁伤时所对应的 Δp 和 i 值(图1中 A, B, C, D 和 E 点所对应的坐标值)。因此,借助球形 TNT 装药近地爆炸冲击波参数经验计算公式(3)和(4)^[5],总能找到一个装药量为 m_T 的 TNT 爆炸场(对应于 A 点的等效 TNT 装药量爆炸场 Δp - i 曲线如图1中曲线 g 所示),当靶板离该 TNT 爆炸场中心的距离与 FAE 相同时,两者对靶板所造成的毁伤等级相同。因此,根据等距离等毁伤效应等威力原则,可以认为 m_T 即为该试验 FAE(燃料量为 m_F)在距爆炸场中心距离为 R 处的等效 TNT 威力当量。

$$\Delta p = 0.103 \frac{\sqrt[3]{m_T}}{R} + 0.403 \left(\frac{\sqrt[3]{m_T}}{R} \right)^2 + 1.27 \left(\frac{\sqrt[3]{m_T}}{R} \right)^3 \quad (3)$$

$(1 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{m_T}} \leq 15)$

$$i = 340 \frac{m_T^{2/3}}{R} \quad (R > 12r_0) \quad (4)$$

式中, m_T 为球形 TNT 装药质量, kg; Δp 为冲击波超压, MPa; i 为比冲量, Pa · s; R 为测点距爆心的距

离, m; r_0 为球形 TNT 装药半径, m。

3 评价技术

根据上述评价方法,在对 FAE 爆炸威力进行具体评价时,需着重解决两方面的问题,一是获得不同厚度(δ)靶板在各毁伤等级(D)下所对应的等毁伤曲线,二是获得 FAE 爆炸场 Δp - i 曲线。

3.1 靶板等毁伤曲线的确定

等毁伤曲线反映靶板(或目标)本身的固有特性,对于厚度一定的靶板,等毁伤曲线只取决于毁伤等级,与爆炸场特性无关。这表明,靶板等毁伤曲线既可借助于 FAE 爆炸场,也可借助 TNT 爆炸场毁伤效应试验来获得。但从试验可操作性和结果可靠性看,采用 TNT 爆炸场更为适宜。因此,实验中可采用球形 TNT 装药作为爆炸源,通过在距爆心不同距离处分别设置试验靶板和自由场压力传感器并根据回收靶板残骸以及传感器所获信号,可对靶板毁伤等级及其所对应的 Δp 和 i 值进行确定。实验中有关靶板和传感器布置如图2所示。

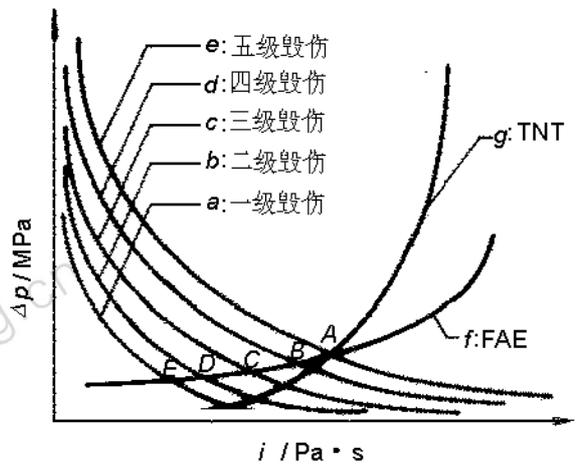


图2 靶板等毁伤曲线实验测试示意图
Fig.2 Schematic diagram of experimental arrangements for determining the iso-damage curves of target

由于准确测量比冲量参数较为困难,先借助球形 TNT 装药近地爆炸冲击波参数经验计算公式(3)和(4)对实验结果进行修正,然后采用 Abrahamson 和 Lindberg 理论等毁伤曲线的无量纲函数形式^[6,7]:

$$\left(\frac{i}{i_0} \right)^2 = \frac{3(\Delta p/p_0)}{4(\Delta p/p_0 - 1)} \quad (1 < p/p_0 < 2) \quad (5)$$

$$\left(\frac{i}{i_0}\right)^2 = \frac{3(\Delta p/p_0)}{3\Delta p/p_0 - 2} \quad (p/p_0 \geq 2) \quad (6)$$

对修正后实验数据进行拟合以进一步减小实验误差,从而确立关系式(1)的具体形式。式中, p_0 和 i_0 分别为靶板在准静态条件下的临界毁伤超压和比冲量。

3.2 FAE 爆炸场超压与比冲量关系的确定

如图 2 所示,通过某一厚度(δ_0)靶板在 FAE 爆炸场中毁伤效应以及传感器所获信号对靶板毁伤等级及其所对应的 Δp 和 R 间关系确定,即:

$$\Delta p = f(\delta_0, R, D) \quad (7)$$

将关系式(7)与(1)联立,可求得各实测 Δp 相对应的 i 值,进而确立关系式(2)的具体形式。

最后,通过联立式(1)~(4),可对 FAE(燃料量为 m_f)爆炸中距爆心不同距离处的等效 TNT 威力当量作出评价,在冲击波 P-I 毁伤准则和靶板毁伤效应基础上建立 FAE 爆炸威力的评价方法。

4 结束语

本文从冲击波超压-冲量毁伤准则出发,提出一种以靶板毁伤效应为依据的 FAE 威力评价方法,并就其实施途径进行了探讨。该方法的显著优点在于,一方面,由于采用了等距离等毁伤效应等威力评价原则,因而评价结果更具科学性和实用价值;另一方面,由于靶板等毁伤曲线的测定在 TNT 爆炸场中进行,而 FAE 爆炸场中超压-比冲量关系,只须借助某一厚度靶板在

FAE 爆炸场中的毁伤效应测试结果即可获得,因比,评价技术途径具有较好的可操作性。从应用的角度看,一方面,利用该方法不仅可就 FAE 对特定易损性目标的毁伤效应作出评价,而且还可进一步就 FAE 武器所对付的目标特性作出分析和评判;另一方面,借助该评价方法,FAE 战斗部设计者还可根据目标特性,从优化 FAE 爆炸场超压和比冲量组合关系($\Delta p, i$)的角度来进一步提高 FAE 武器的威力性能。

参 考 文 献

- [1] Sedgwick R T, Krata H R. Fuel air explosives: a parametric investigation[R]. AD-A159 177/5/HDM.
- [2] 许会林,汪家华. 燃料空气炸药[M]. 北京:国防工业出版社,1980.
- [3] 惠君明. 燃料空气炸药威力评判的讨论[J]. 兵工学报·火化工分册,1995(2): 50~54.
- [4] 惠君明,刘荣海,彭金华等. 燃料空气炸药威力的评价方法[J]. 含能材料,1996(3): 123~128.
- [5] 北京工业学院八系. 爆炸及其作用(下册)[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [6] Abrahamson G R, Lindberg H E. Peak load-impulse characterization of critical pulse loads in structural dynamics, in dynamic response of structure[M]. New York: Pergamon Press, 1972.
- [7] Sewell R G S. Blast damage criterion[R]. NAYWEPS Report 8469, 1964.

Evaluation Method of FAE Power Based on its Damage Effects upon the Target

WANG Hai-fu, WANG Fang, FENG Shun-shan

(National Key Lab of Prevention and Control of Explosion Disasters, BIT, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on shock overpressure-impulse damage criterion, a method is developed to evaluate FAE power according to its damage effects upon the targets, the related operation and technique are also discussed.

Key words: damage effect; evaluation of power; fuel air explosive (FAE)